

УДК 621.311.25:621.039

**В.И. Ковальчук**, канд. техн. наук, доц.,  
**О.А. Дорож**, канд. техн. наук,  
**Е.В. Кишневский**, инженер,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАМЫВНОГО ИОНООБМЕННОГО ФИЛЬТРА

*В.И. Ковальчук, О.А. Дорож, Е.В. Кишневский.* **Методика розрахунку намывного іонообмінного фільтру.** Приведено методику розрахунку іонування на намывному іонообмінному фільтрі з використанням експериментальних кінетичних даних.

*V.I. Kovalchuk, O.A. Dorozh, E.V. Kishnevsky.* **Methods of designing a precoat ion-exchange filter.** The methods of computing zeolite softening process on a precoat ion-exchange filter using the experimental kinetic data are presented.

Эксплуатация насыпных ионообменных фильтров в системах спецводоочисток АЭС для извлечения из вод радиоизотопов (для дезактивации, очистки первичного теплоносителя, конденсата, вод бассейнов выдержки топлива) сопровождается значительными объемами регенерационных, промывочных и взрыхляющих вод повышенной активности ( $10^6 \dots 10^9$  Бк/л), требующих дополнительной переработки [1, 2]. При этом на насыпных ионообменных фильтрах с ионитами обычных размеров (0,3...1,2 мм) используется менее 60 % полной обменной емкости ионитов (по хлоридам менее 30 %) при двукратных и более избытках реагентов на регенерацию.

В противоположность таким технологиям разработаны процессы, основанные на использовании полностью отрегенированных ионообменных смол в виде порошка с размером частиц от 20 до 200 мкм в намывных ионообменных фильтрах (НИФ) [2]. Вода фильтруется через тонкий слой смеси катионита и анионита, который намывается на фильтрующие элементы (патроны). После истощения обменной емкости ионитов в хранилище жидких радиоактивных отходов сбрасывается пульпа ионитов, объем которой на порядок меньше, чем объемы растворов насыпных ионообменных фильтров.

Кроме того, НИФ имеют ряд конструктивных и технологических преимуществ по сравнению с насыпными ионообменными фильтрами: они проще по конструкции и технологии производства; меньше весом и габаритами; не требуют реагентного хозяйства и оборудования для нейтрализации сбросных вод; повышают степень очистки воды, что приводит к уменьшению отложений на теплообменных поверхностях энергооборудования и сокращению кислотных промывок.

Благодаря высокой степени измельчения ионитов значительно улучшается кинетика ионообменного процесса, и даже в тонких слоях используется до 90 % их обменной емкости. НИФ обеспечивает очистку примесей коллоидной степени дисперсности, а при обессоливании конденсата с малым содержанием качество фильтрата превосходит качество фильтрата фильтра смешанного действия с насыпным слоем. Однократное применение порошкообразных ионитов делает их применение возможным и при повышенных температурах без заметного термоллиза функциональных групп обычных марок ионитов [3].

Имеется положительный опыт применения НИФ на АЭС с РБМК. Для АЭС с ВВЭР актуальной является проблема удаления коллоидных и органических примесей на спецводоочистке вод бассейнов выдержки и перегрузки отработавшего ядерного топлива (СВО-4).

Традиционно СВО-4 включает в себя механический фильтр,  $\text{NH}_4^+ - \text{K}^+$ -катионитный фильтр и  $\text{VO}_3^-$ -анионитный фильтр. Целесообразно применение НИФ в качестве предвключенного вместо обычного механического фильтра перед насыпными катионитным и анионитным фильтрами, что позволит одновременно удалять коллоидные и ионизированные примеси, значительно удешевить организацию процесса, упростить утилизацию отработанных ионитов. В штатном режиме на НИФ можно удалять микроконцентрации натрия и хлоридов, а регулирование концентрации борной кислоты проводить на насыпных ионообменных фильтрах.

Для полноценного и продуктивного использования НИФ необходим расчет продолжительности процесса до "проскока" задерживаемых ионов.

По результатам исследований кинетики ионного обмена в квазитонком слое (видоизмененный метод "тонкого слоя") разработана методика расчета работы ионообменных фильтров с намытым слоем ионита [4].

Целью расчета является определение толщины слоя конкретного ионита для заданной производительности, скорости фильтрования, состава обрабатываемой воды, а также режимных параметров вспомогательных операций.

Действующий перепад концентрации удаляемой примеси на намытом слое равен разнице ее содержания в воде до и после обработки

$$\Delta C = C_0 - C_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где  $C_0, C_{\text{пр}}$  — концентрация примеси в воде до и после обработки, соответственно, г-экв/м<sup>3</sup>.

Приведенная скорость обмена определяется соотношением [4]

$$q = \frac{y}{E_{\text{п}}} \cdot \frac{d^2}{\bar{D}_{\text{вну}}}, \quad (2)$$

где  $y$  — скорость обмена, мг-экв/(м<sup>3</sup>·с);

$d$  — диаметр зерен ионита, м;

$E_{\text{п}}$  — полная обменная емкость ионита, г-экв/м<sup>3</sup>;

$\bar{D}_{\text{вну}}$  — коэффициент диффузии ионов в ионите; м<sup>2</sup>/с.

Эта приведенная скорость связана со степенью заполнения ионита показательной функцией

$$q = AU^m, \quad (3)$$

где  $A$  — множитель показательной зависимости  $q$  от  $U$ ;

$U$  — степень заполнения ионита;

$m$  — показатель степени показательной зависимости  $q$  от  $U$ .

Подстановкой выражений для приведенной скорости и степени заполнения в (3) получено в явном виде соотношение для скорости обмена как функции концентраций иона в растворе и ионите

$$y = AE_{\text{п}} \frac{\bar{D}_{\text{вну}}}{d^2} U(t)^m \left( \frac{C^0}{\bar{C}^0} \right)^m, \quad (4)$$

где  $U(t)$  — степень заполнения ионита ко времени  $t$ ;

$C^0$  — концентрация иона в растворе, г-экв/м<sup>3</sup>;

$\bar{C}^0$  — концентрация иона в ионите, равновесная по отношению к  $C^0$ , г-экв/м<sup>3</sup>.

Скорость обмена в “тонком” слое ионита можно также определить как

$$y = -\frac{dC}{d\tau} \approx \frac{\Delta C}{\Delta \tau} = \frac{w\Delta C}{H}, \quad (5)$$

где  $w$  — скорость фильтрования, м/ч;

$H$  — толщина слоя ионита, м.

Используя уравнения (4) и (5), можно после преобразований получить выражение для высоты слоя ионита

$$H = \frac{\Delta C w}{y}, \quad (6)$$

$$H = \Delta C \frac{wd^2}{AE_{\text{п}} \bar{D}_{\text{вну}}} \left( \frac{\delta d}{2(1+\nu)D_{\text{эф}} t} \frac{\bar{C}^0}{C^0} \right)^m, \quad (7)$$

где  $\delta$  — толщина пленки вокруг ионита, мм;

$\nu$  — индекс формы зерна ионита;

$D_{\text{эф}}$  — эффективный коэффициент диффузии в растворе, м<sup>2</sup>/с.

Продолжительность эффективной работы намытого слоя ионита из приведенного выражения составит

$$t = \left( \frac{\Delta C w d^2}{AE_{\text{п}} \bar{D}_{\text{вну}} H} \right)^{\frac{1}{m}} \frac{\delta d}{2(1+\nu)D_{\text{эф}}} \frac{\bar{C}^0}{C^0}. \quad (8)$$

Для сравнения выполнены расчеты эксплуатационных показателей насыпного ионообменного фильтра по традиционной методике и намывного ионообменного фильтра по разработанной методике (табл. 1).

Таблица 1

*Эксплуатационные показатели насыпного и намывного ионообменных фильтров*

Показатель	Ед. измер	Насыпной фильтр	Намывной фильтр
Производительность	м <sup>3</sup> /ч	30	30
Общая площадь фильтрования	м <sup>2</sup>	0,785	3,10
Поверхность одного элемента	м <sup>2</sup>	-	0,31
Объем ионита в фильтре	м <sup>3</sup>	1,178	0,014
Годовое потребление ионита	м <sup>3</sup>	0,118	0,069
Годовое потребление воды на собственные нужды фильтра	м <sup>3</sup>	50...150	8...10

Таким образом, наряду с технологическими и экономическими преимуществами фильтрования в намывных фильтрах значительно сокращаются затраты воды на собственные нужды из-за отсутствия регенерации и отмывки ионита в фильтре. Это особенно актуально при использовании таких технологий на АЭС, т.к. приводит к уменьшению количества высокоинерализованных радиоактивных регенерационных растворов.

Также НИФ можно считать конкурентноспособными по удалению коллоидных примесей по сравнению с патронными механическими фильтрами.

Разработанная методика расчета НИФ решает проблему выбора его параметров при проектировании и эксплуатации спецводоочисток АЭС, что позволит сократить объемы радиоактивных отходов, снизить негативное влияние на окружающую среду, автоматизировать процесс очистки воды и радиоактивных сред в условиях эксплуатации АЭС.

## Литература

1. Захаров Е.И. Ионообменное оборудование атомной промышленности. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 248 с.
2. Кишневский В.А. Современные методы обработки воды в энергетике: Учеб. пособие. — Одесса: ОГПУ, 1999. — 196 с.
3. Мартынова О.И., Копылов А.С. Водно-химические режимы АЭС, системы их поддержания и контроля. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 96 с.
4. Дорож О.А. Статистичні характеристики динаміки іонного обміну // Укр. хім. журн. — 2002. — Т. 68, № 8. — С. 96 — 98.

Поступила в редакцию 18 декабря 2003 г.